

Docket No.: 57810-077

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of	:	Customer Number: 20277
	:	
Yasuhiko NOMURA, et al.	:	Confirmation Number:
	:	
Serial No.:	:	Group Art Unit:
	:	
Filed: September 17, 2003	:	Examiner: Unknown
	:	
For: NITRIDE-BASED SEMICONDUCTOR LASER DEVICE	:	

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:


In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claims the priority of:

Japanese Patent Application No. 2002-275763, filed September 20, 2002

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:tlb
Facsimile: (202) 756-8087
Date: September 17, 2003

日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 9月20日

出願番号

Application Number:

特願2002-275763

[ST.10/C]:

[JP2002-275763]

出願人

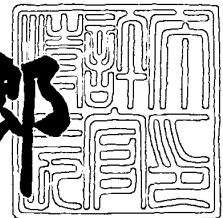
Applicant(s):

三洋電機株式会社

2003年 7月 4日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3053263



【書類名】 特許願

【整理番号】 NPA1020025

【提出日】 平成14年 9月20日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
三洋電機株式会社内

 【氏名】 野村 康彦

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
三洋電機株式会社内

 【氏名】 井上 大二郎

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
三洋電機株式会社内

 【氏名】 畑 雅幸

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
三洋電機株式会社内

 【氏名】 狩野 隆司

【特許出願人】

 【識別番号】 000001889

 【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

 【代表者】 桑野 幸徳

【代理人】

 【識別番号】 100104433

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 宮園 博一



【手数料の表示】

【予納台帳番号】 073613

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001887

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物系半導体レーザ素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 不純物がドーピングされた窒化物系半導体、および、窒化物系材料のいずれか一方からなる基板と、

前記基板上に形成された n 型クラッド層と、

前記 n 型クラッド層上に形成された窒化物系半導体からなる活性層と、

前記活性層上に形成された p 型クラッド層と、

前記 p 型クラッド層と前記活性層との間に形成され、第 1 の厚みを有する p 側光ガイド層と、

前記 n 型クラッド層と前記活性層との間に形成され、前記第 1 の厚みよりも小さい第 2 の厚みを有する n 側光ガイド層とを備えた、窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項 2】 不純物がドーピングされた窒化物系半導体、および、窒化物系材料のいずれか一方からなる基板と、

前記基板上に形成された n 型クラッド層と、

前記 n 型クラッド層上に形成された窒化物系半導体からなる活性層と、

前記活性層上に形成された p 型クラッド層と、

前記活性層と、前記 n 型クラッド層および前記 p 型クラッド層との間のうち、前記活性層と前記 p 型クラッド層との間にのみ形成された光ガイド層とを備えた、窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項 3】 前記基板は、前記活性層で発生した光の一部を吸収する、請求項 1 または 2 に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項 4】 前記基板にドーピングされた不純物は、酸素である、請求項 3 に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項 5】 前記 n 型クラッド層は、アンダーレイである、請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項 6】 前記 n 型クラッド層には、Ge がドーピングされている、請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項 7】 前記基板と前記 n 型クラッド層との間に形成され、アンドープの窒化物系半導体からなる層をさらに備える、請求項 1～6 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項 8】 前記基板と前記 n 型クラッド層との間に形成され、Ge がドーピングされた窒化物系半導体からなる層をさらに備える、請求項 1～6 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【請求項 9】 前記基板は、GaN 基板および ZrB_2 基板のいずれかを含む、請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、窒化物系半導体レーザ素子に関し、特に、基板上に窒化物系半導体層が形成される窒化物系半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、窒化物系半導体レーザ素子は、次世代の大容量光ディスク用光源としての利用が期待されており、その開発が盛んに行われている。従来では、サファイア基板上に、窒化物系半導体各層を成長させることにより窒化物系半導体レーザ素子を形成する方法が知られている。この場合、サファイア基板と窒化物系半導体層との格子不整合を緩和するために、サファイア基板と窒化物系半導体層との間に低温バッファ層を形成する技術が知られている（たとえば、非特許文献 1 参照）。また、従来、活性層とクラッド層との間に光ガイド層を設けることによって、垂直方向の光の閉じ込めを強化する技術が知られている（たとえば、特許文献 1 参照）。

【0003】

図 18 は、従来の窒化物系半導体レーザ素子の一例を示した断面図であり、図 19 は、図 18 に示した従来の一例による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細断面図である。まず、図 18 および図 19 を参照して、従来の一例による窒化物系半導体レーザ素子の構造について説明する。

【0004】

従来の一例による窒化物系半導体レーザ素子では、図18に示すように、サファイア基板101上に、約20nmの膜厚を有するアンドープGaNからなる低温バッファ層102が形成されている。低温バッファ層102上には、約4μmの膜厚を有するSiがドーピングされたn型GaNからなるn型コンタクト層103が形成されている。このn型コンタクト層103は、一部領域が除去されることによって、露出された表面と凸部とを有する。そして、n型コンタクト層103の凸部上には、約50nmの膜厚を有するSiがドーピングされたn型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなるn型クラック防止層104が形成されている。n型クラック防止層104上には、約0.5μmの膜厚を有するSiがドーピングされたn型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ からなるn型クラッド層105が形成されている。n型クラッド層105上には、発光層106が形成されている。

【0005】

この発光層106は、図19に示すように、n型光ガイド層161と、n型光ガイド層161上に形成されたMQW（多重量子井戸）活性層162と、MQW活性層162上に形成されたp型キャップ層163と、p型キャップ層163上に形成されたp型光ガイド層164とから構成されている。n型光ガイド層161は、約100nmの膜厚を有するSiがドーピングされたn型GaNからなる。そして、MQW活性層162は、約20nmの膜厚を有するアンドープ $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなる4つの障壁層162aと、約2.5nmの膜厚を有するSiがドーピングされた $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる3つの井戸層162bとが交互に積層されている。また、p型キャップ層163は、約10nmの膜厚を有するMgがドーピングされたp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる。このp型キャップ層163は、MQW活性層162のInが脱離するのを防止することによってMQW活性層162の結晶の劣化を防止する機能を有する。また、p型光ガイド層164は、約100nmの膜厚を有するMgがドーピングされたp型GaNからなる。

【0006】

そして、図18に示すように、発光層106（p型光ガイド層164）上には、約0.5μmの膜厚を有するMgがドーピングされたp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ からな

るp型クラッド層107が形成されている。このp型クラッド層107は、一部領域が除去されることによって、凸形状に形成されている。そして、p型クラッド層107の凸部上には、約 $0.5\mu\text{m}$ の膜厚を有するMgがドーピングされたp型GaNからなるp型コンタクト層108が形成されている。このp型コンタクト層108とp型クラッド層107の凸部とによって、リッジ部109が構成されている。

【0007】

そして、n型コンタクト層103の露出している表面の一部領域上と、n型クラッド防止層104、n型クラッド層105、発光層106およびp型コンタクト層108の側面上と、p型クラッド層107の表面上とに、約 $0.2\mu\text{m}$ の膜厚を有する SiO_2 膜からなる電流ブロック層110が形成されている。そして、p型コンタクト層108上には、p側オーミック電極111が形成されている。このp側オーミック電極111の表面上と電流ブロック層110の表面の一部領域上とを覆うように、p側パッド電極112が形成されている。また、n型コンタクト層103の露出している表面の一部領域上には、n側オーミック電極113が形成されている。n側オーミック電極113の上面上には、n側パッド電極114が形成されている。

【0008】

ここで、図18に示した従来の一例による窒化物系半導体レーザ素子では、p側パッド電極112とn側パッド電極114との間に順方向に電圧を印加することによって、p側パッド電極112からp側オーミック電極111、窒化物系半導体各層(108~103)およびn側オーミック電極113を介して、n側パッド電極114に電流が流れる。これにより、発光層106でレーザ光が発生する。この場合、発光層106内の光は、MQW活性層162とn型クラッド層105およびp型クラッド層107との間の屈折率差によって、垂直方向に閉じ込められる。

【0009】

また、MQW活性層162とn型クラッド層105およびp型クラッド層107との間に、それぞれ、MQW活性層162とn型クラッド層105およびp型

クラッド層 1 0 7 との中間の屈折率を有する n 型光ガイド層 1 6 1 および p 型光ガイド層 1 6 4 を設けることによって、垂直方向の光の閉じ込めを強化することができるので、高密度の光を発光層 1 0 6 内に閉じ込めることができる。

【 0 0 1 0 】

また、従来では、窒化物系半導体レーザ素子の他の例として、n 型 Si C からなる基板の上に、窒化物系半導体各層が形成された窒化物系半導体レーザ素子が知られている（たとえば、特許文献 2 参照）。また、Ga As や Si などからなる基板の上に、窒化物系半導体各層が形成された窒化物系半導体レーザ素子も知られている。

【 0 0 1 1 】

【非特許文献 1】

H. Amano 他: Appl. Phys. Lett. 48, 353 (1986)

【特許文献 1】

特開平 1 0 - 2 9 4 5 2 9 号公報

【特許文献 2】

特開平 1 1 - 3 4 0 5 8 0 号公報

【 0 0 1 2 】

【発明が解決しようとする課題】

図 1 8 に示した従来の一例による窒化物系半導体レーザ素子では、n 型クラッド層 1 0 5 および p 型クラッド層 1 0 7 に用いられる Al Ga N や MQW 活性層 1 6 2 に用いられる In Ga N は、Al 組成および In 組成を大きくすると結晶性が著しく劣化するという不都合があった。これにより、Al 組成および In 組成を大きくすることによって、MQW 活性層 1 6 2 と n 型クラッド層 1 0 5 および p 型クラッド層 1 0 7 との間の屈折率差を大きくするのは困難であった。このため、たとえ、MQW 活性層 1 6 2 と n 型クラッド層 1 0 5 および p 型クラッド層 1 0 7 との間に、n 型光ガイド層 1 6 1 および p 型光ガイド層 1 6 4 を設けたとしても、光の閉じ込めは不十分になるという不都合があった。

【 0 0 1 3 】

上記のように、従来では、光の閉じ込めが不十分であるので、MQW活性層162を含む発光層106からn型クラッド層105およびp型クラッド層107に光がしみ出しやすい。そして、従来では、発光層106からしみ出した光の一部が透明なサファイア基板1に伝播することによって、レーザ光に悪影響を及ぼすと考えられる。具体的には、光強度の空間的分布が良好な単峰性にならないとともに、レーザ光自体が不安定になり、素子駆動中にレーザ光の形状やレーザ光のスポット位置が変化するという問題点があった。その結果、レーザ光の安定化を図るのが困難であった。

【0014】

また、サファイア基板101とn型コンタクト層103との間の格子不整合を緩和するために設けられた低温バッファ層102自体に多量の転位が発生するため、低温バッファ層102において、光の散乱や吸収が発生するという不都合もあった。これによっても、レーザ光の安定化を図るのが困難であった。

【0015】

また、図18に示した従来の一例による窒化物系半導体レーザ素子では、p型ドーパントとしてのMgやZnなどがドーブされたAlを含むp型窒化物系半導体層は、膜厚を大きくすると、クラックなどが発生することにより結晶性が大幅に劣化する。このため、p型AlGaNからなるp型クラッド層107の膜厚は、数百nmに抑えておく必要があるので、発光層106とp側オーミック電極111との距離を大きくするのが困難であった。このように、従来では、発光層106とp側オーミック電極111との距離が小さいので、発光層106の近傍の大きい強度を有する光がp側オーミック電極111に吸収されるという不都合があった。また、この場合、窒化物系半導体レーザ光の発光波長は、赤外や赤色半導体レーザ光よりも波長が小さいので、窒化物系半導体レーザ光は、p側オーミック電極111によって、より吸収されやすいという不都合もあった。その結果、しきい値電流や動作電流が増大するという問題点もあった。

【0016】

また、従来GaAsやSiなどからなる基板を用いた窒化物系半導体レーザ素子では、GaAsやSiなどからなる基板は、活性層のバンドギャップ(MQ

W構造の場合は、井戸層の量子準位) よりも十分に小さいバンドギャップを有するので、サファイア基板の場合と異なり、発光層からしみ出した光を基板に吸収させることが可能である。しかしながら、GaAsやSiなどのバンドギャップは、発光波長のバンドギャップに対して小さすぎるため、GaAsやSiなどからなる基板での光吸収が過大になるという不都合がある。その結果、しきい値電流や動作電流が増大するという問題点がある。

【0017】

また、上記特許文献2に開示されたSiCからなる基板を用いた従来の窒化物系半導体レーザ素子では、SiCからなる基板は、窒化物系半導体からなる活性層と同等のバンドギャップを有するとともに、光を吸収しにくい間接遷移型半導体であるので、発光層からしみ出した光を、基板で有効に吸収させるのが困難である。その結果、レーザ光が不安定になるという問題点がある。

【0018】

また、MgやZnなどがドーピングされたp型窒化物系半導体は、n型ドーパントがドーピングされたn型窒化物系半導体に比べて深い不純物準位を有するので、p型窒化物系半導体層での光吸収が大きくなる。このため、基板側にp型窒化物系半導体各層を形成した場合に、発光層からしみ出した光を基板に効率的にしみ出させるのが困難であるという問題点がある。

【0019】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、

この発明の1つの目的は、レーザ光の安定化を図るとともに、しきい値電流や動作電流が増大するのを抑制することが可能な窒化物系半導体レーザ素子を提供することである。

【0020】

この発明のもう1つの目的は、上記の窒化物系半導体レーザ素子において、活性層で発生した光を基板側に優先的にしみ出させることである。

【0021】

【課題を解決するための手段】

この発明の第1の局面による窒化物系半導体レーザ素子は、不純物がドーピングさ

れた窒化物系半導体、および、硼化物系材料のいずれか一方からなる基板と、基板上に形成されたn型クラッド層と、n型クラッド層上に形成された窒化物系半導体からなる活性層と、活性層上に形成されたp型クラッド層と、p型クラッド層と活性層との間に形成され、第1の厚みを有するp側光ガイド層と、n型クラッド層と活性層との間に形成され、第1の厚みよりも小さい第2の厚みを有するn側光ガイド層とを備えている。

【0022】

この第1の局面による窒化物系半導体レーザ素子では、上記のように、n型クラッド層と活性層との間に、p側光ガイド層の第1の厚みよりも小さい第2の厚みを有するn側光ガイド層を設けることによって、n側光ガイド層の光閉じ込め係数がp側光ガイド層の光閉じ込め係数よりも小さくなるので、活性層で発生した光を優先的にn側光ガイド層が形成される基板側にしみ出させることができる。これにより、基板側にしみ出された光を、不純物がドーピングされた窒化物系半導体からなる基板の不純物準位により吸収させることができるので、レーザ光の安定化を図ることができる。また、硼化物系材料からなる基板の場合には、基板側にしみ出された光を、バンド内遷移（価電子帯内または伝導帯内の遷移）またはバンド間遷移（価電子帯から伝導帯への遷移）により吸収させることができるので、レーザ光の安定化を図ることができる。

【0023】

また、活性層で発生した光を優先的に基板側にしみ出させることができるので、基板と反対側のp側電極による光吸収を抑制することができる。これにより、しきい値電流や動作電流が増大するのを抑制することができる。また、窒化物系半導体または硼化物系材料からなる基板は、GaAsやSiなどからなる基板と異なり、基板での光吸収が過大になることがないので、これによっても、しきい値電流や動作電流の増大を抑制することができる。また、p型クラッド層よりも浅い不純物準位を有するn型クラッド層を基板側に設けることによって、基板側にしみ出された光がn型クラッド層で吸収されるのを抑制することができるので、光を効率的に基板側にしみ出させることができる。

【0024】

この発明の第2の局面による窒化物系半導体レーザ素子は、不純物がドーブされた窒化物系半導体、および、硼化物系材料のいずれか一方からなる基板と、基板上に形成されたn型クラッド層と、n型クラッド層上に形成された窒化物系半導体からなる活性層と、活性層上に形成されたp型クラッド層と、活性層と、n型クラッド層およびp型クラッド層との間のうち、活性層とp型クラッド層との間にのみ形成された光ガイド層とを備えている。

【 0 0 2 5 】

この第2の局面による窒化物系半導体レーザ素子では、上記のように、活性層と、n型クラッド層およびp型クラッド層との間のうち、活性層とp型クラッド層との間にのみ光ガイド層を設けることによって、n側の光ガイド層が存在しないので、活性層で発生した光をより優先的に基板側にしみ出させることができる。これにより、基板側にしみ出された光を、不純物がドーブされた窒化物系半導体からなる基板の不純物準位により吸収させることができるので、レーザ光の安定化を図ることができる。また、硼化物系材料からなる基板の場合には、基板側にしみ出された光を、バンド内遷移（価電子帯内または伝導帯内の遷移）またはバンド間遷移（価電子帯から伝導帯への遷移）により吸収させることができるので、レーザ光の安定化を図ることができる。

【 0 0 2 6 】

また、活性層で発生した光を優先的に基板側にしみ出させることができるので、基板と反対側のp側電極による光吸収を抑制することができる。これにより、しきい値電流や動作電流が増大するのを抑制することができる。また、窒化物系半導体または硼化物系材料からなる基板は、GaAsやSiなどからなる基板と異なり、基板での光吸収が過大になることがないので、これによっても、しきい値電流や動作電流の増大を抑制することができる。また、p型クラッド層よりも浅い不純物準位を有するn型クラッド層を基板側に設けることによって、基板側にしみ出された光がn型クラッド層で吸収されるのを抑制することができるので、光を効率的に基板側にしみ出させることができる。

【 0 0 2 7 】

また、n側の光ガイド層を設けていないので、n型クラッド層と活性層との間

でバンドギャップが段階的に変化しない。このため、活性層に注入された正孔は、n型クラッド層と活性層との間のバンドギャップ差を越えにくくなるので、正孔のn型クラッド層へのオーバーフローを抑制することができる。これにより、温度が上昇したとしても、しきい値電流が増加するのを抑制することができる。その結果、素子の温度特性を向上させることができる。

【 0 0 2 8 】

上記の窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、基板は、活性層で発生した光の一部を吸収する。このように構成すれば、基板側にしみ出された光を、容易に、不純物がドーブされた窒化物系半導体からなる基板の不純物準位により吸収させることができる。この場合、好ましくは、基板にドーブされた不純物は、酸素である。このように構成すれば、酸素によって基板に不純物準位を効果的に形成することができるので、基板にしみ出した光を有効に吸収することができる。これにより、レーザ光をより安定化することができる。また、硼化物系材料からなる基板の場合には、基板側にしみ出された光を、容易に、バンド内遷移（価電子帯内または伝導帯内の遷移）またはバンド間遷移（価電子帯から伝導帯への遷移）により吸収させることができる。

【 0 0 2 9 】

上記の窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、n型クラッド層は、アンドープである。なお、本発明の「アンドープ」は、不純物を意図的にドーブしていないことを意味する。したがって、不純物が全くドーブされていない場合のみならず、意図しないで不純物が少量混入している場合も、本発明の「アンドープ」に該当する。このように構成すれば、n型クラッド層上に形成される活性層の結晶性を向上させることができるので、発光効率を向上させることができる。また、n型クラッド層上にn側光ガイド層が形成される場合には、n側光ガイド層の結晶性を向上させることができるので、n側光ガイド層での光吸収を抑制することができる。また、n型クラッド層に不純物準位が形成されないので、n型クラッド層での光吸収を抑制することができる。

【 0 0 3 0 】

上記の窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、n型クラッド層には

、Geがドーピングされている。このように構成すれば、Geは、窒化物系半導体と格子定数が近いこと、ドーピングによる歪みの発生を有効に低減することができる。これにより、n型クラッド層上に形成される活性層の結晶性を向上させることができるので、発光効率を向上させることができる。また、n型クラッド層上にn側光ガイド層が形成される場合には、n側光ガイド層の結晶性を向上させることができるので、n側光ガイド層での光吸収を抑制することができる。また、Geのドーピング量を制御することにより、容易に、n型クラッド層の抵抗値を制御することができる。

【 0 0 3 1 】

上記の窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、基板とn型クラッド層との間に形成され、アンドープの窒化物系半導体からなる層をさらに備える。このように構成すれば、その層上に形成されるn型クラッド層の結晶性を向上させることができるので、n型クラッド層での光吸収を抑制することができる。また、アンドープの窒化物系半導体層上のn型クラッド層上にn側光ガイド層が形成される場合には、n側光ガイド層の結晶性を向上させることができるので、n側光ガイド層での光吸収を抑制することができる。また、アンドープの窒化物系半導体からなる層を設けることによって、活性層と基板との距離を調整することができるので、基板における光吸収の量を容易に制御することができる。

【 0 0 3 2 】

上記の窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、基板とn型クラッド層との間に形成され、Geがドーピングされた窒化物系半導体からなる層をさらに備える。このように構成すれば、Geは、窒化物系半導体と格子定数が近いこと、ドーピングによる歪みの発生を有効に低減することができる。これにより、Geがドーピングされた窒化物系半導体からなる層上に形成されるn型クラッド層の結晶性を向上させることができるので、n型クラッド層での光吸収を抑制することができる。また、Geがドーピングされた窒化物系半導体層上のn型クラッド層上にn側光ガイド層が形成される場合には、n側光ガイド層の結晶性を向上させることができるので、n側光ガイド層での光吸収を抑制することができる。また、Geのドーピング量を制御することにより、容易に、Geがドーピングされた窒化物系半

導体からなる層の抵抗値を制御することができる。

【0033】

上記の窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、基板は、Ga_{0.99}N_{0.01}基板およびZrB₂基板のいずれかを含む。このように構成すれば、Ga_{0.99}N_{0.01}またはZrB₂は、その上に形成されるn型クラッド層および活性層を構成する窒化物系半導体と格子定数が近いため、n型クラッド層および活性層の結晶性を向上させることができる。また、基板上にn側光ガイド層が形成される場合には、n側光ガイド層の結晶性を向上させることができるので、n側光ガイド層での光吸収を抑制することができる。これにより、n型クラッド層およびn側光ガイド層による光吸収を抑制することができるので、レーザ光の安定化を図ることができる。また、Ga_{0.99}N_{0.01}基板またはZrB₂基板は、GaSiやSiなどからなる基板と異なり、基板での光吸収が過大になることがないので、しきい値電流や動作電流の増大を抑制することができる。

【0034】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0035】

(第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図であり、図2は、図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細断面図である。まず、図1および図2を参照して、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造について説明する。

【0036】

第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、図1に示すように、酸素がドーパされたn型Ga_{0.99}N_{0.01}基板1の(0001)面上に、約1μmの膜厚を有するアンドープGa_{0.99}N_{0.01}層2が形成されている。なお、n型Ga_{0.99}N_{0.01}基板1は、本発明の「窒化物系半導体からなる基板」の一例であり、アンドープGa_{0.99}N_{0.01}層2は、本発明の「アンドープの窒化物系半導体からなる層」の一例である。そして、アンドープGa_{0.99}N_{0.01}層2上には、約1μmの膜厚を有するアンドープAl_{0.07}Ga_{0.93}N_{0.03}層3が形成されている。

Nからなるアンドープのn型クラッド層3が形成されている。アンドープのn型クラッド層3上には、発光層4が形成されている。

【0037】

ここで、第1実施形態では、図2に示すように、発光層4内に、n側の光ガイド層が設けられていない。すなわち、発光層4は、多重量子井戸構造を有するMQW活性層41と、MQW活性層41上に形成されたp側光ガイド層42と、p側光ガイド層42上に形成されたp型キャリアブロック層43とから構成されている。なお、MQW活性層41は、本発明の「活性層」の一例であり、p側光ガイド層42は、本発明の「光ガイド層」の一例である。

【0038】

そして、MQW活性層41は、約3.5nmの膜厚を有するアンドープ $\text{In}_X\text{Ga}_{1-X}\text{N}$ からなる3つの量子井戸層41aと、約20nmの膜厚を有するアンドープ $\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ からなる3つの量子障壁層41bとが交互に積層されている。ここで、 $X > Y$ であり、 $X = 0.15$ 、 $Y = 0.05$ である。また、p側光ガイド層42は、約0.1 μm の膜厚を有するアンドープ $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなる。そして、p型キャリアブロック層43は、約20nmの膜厚を有するMgがドーピングされたp型 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ からなる。そして、この発光層4において、p側光ガイド層42に閉じ込められる光エネルギーの割合である光閉じ込め係数は、約0.35である。

【0039】

また、図1に示すように、発光層4（p型キャリアブロック層43）上には、Mgがドーピングされた $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなるp型クラッド層5が形成されている。このp型クラッド層5は、一部領域が除去されることによって、凸形状に形成されている。そして、p型クラッド層5の凸部の膜厚は、約0.35 μm であり、凸部以外の領域の膜厚は、約0.05 μm である。また、p型クラッド層5の凸部の幅は、約1.5 μm である。そして、p型クラッド層5の凸部上には、約3nmの膜厚を有するMgがドーピングされたp型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるp型コンタクト層6が形成されている。そして、p型クラッド層5の凸部とp型コンタクト層6とによって、電流通路となるリッジ部7が構成されている。この

リッジ部 7 の側面上と p 型クラッド層 5 の露出している表面上とは、約 0.2 μm の膜厚を有する SiO_2 膜からなる電流ブロック層 8 が形成されている。

【0040】

そして、リッジ部 7 を構成する p 型コンタクト層 6 上には、下層から上層に向かって、約 1 nm の膜厚を有する Pt 層と、約 100 nm の膜厚を有する Pd 層と、約 240 nm の膜厚を有する Au 層と、約 240 nm の膜厚を有する Ni 層とからなる p 側オーミック電極 9 が、ストライプ状（細長状）に形成されている。また、p 側オーミック電極 9 の表面上と電流ブロック層 8 の表面の一部領域上とは、p 側オーミック電極 9 の上面に接触するように、下層から上層に向かって、約 100 nm の膜厚を有する Ti 層と、約 150 nm の膜厚を有する Pt 層と、約 3 μm の膜厚を有する Au 層とからなる p 側パッド電極 10 が形成されている。

【0041】

また、n 型 GaN 基板 1 の裏面上には、n 型 GaN 基板 1 に近い方から順に、約 6 nm の膜厚を有する Al 層と、約 2 nm の膜厚を有する Si 層と、約 10 nm の膜厚を有する Ni 層と、約 100 nm の膜厚を有する Au 層とからなる n 側オーミック電極 11 が形成されている。n 側オーミック電極 11 の裏面上には、n 側オーミック電極 11 に近い方から順に、約 10 nm の膜厚を有する Ni 層と、約 700 nm の膜厚を有する Au 層とからなる n 側パッド電極 12 が形成されている。

【0042】

第 1 実施形態では、上記のように、MQW 活性層 41 と p 型クラッド層 5 との間にのみ光ガイド層（p 側光ガイド層 42）を設けることによって、n 側の光ガイド層が存在しないので、MQW 活性層 41 で発生した光を優先的に n 型 GaN 基板 1 側にしみ出させることができる。これにより、n 型 GaN 基板 1 側にしみ出された光を、酸素がドーピングされた n 型 GaN 基板 1 の不純物準位により吸収させることができるので、レーザ光の安定化を図ることができる。また、MQW 活性層 41 で発生した光を優先的に n 型 GaN 基板 1 側にしみ出させることができるので、n 型 GaN 基板 1 と反対側の p 側オーミック電極 9 による光吸収を抑制

することができる。これにより、しきい値電流や動作電流が増大するのを抑制することができる。また、 n 型Ga N 基板1は、GaAsやSiなどからなる基板と異なり、 n 型Ga N 基板1での光吸収が過大になることがないので、これによっても、しきい値電流や動作電流の増大を抑制することができる。また、 n 側の光ガイド層を設けていないので、アンドープの n 型クラッド層3とMQW活性層41との間でバンドギャップが段階的に変化しない。このため、MQW活性層41に注入された正孔は、 n 型クラッド層3とMQW活性層41との間のバンドギャップ差を越えにくくなるので、正孔の n 型クラッド層3へのオーバーフローを抑制することができる。これにより、温度が上昇したとしても、しきい値電流が増加するのを抑制することができる。その結果、素子の温度特性を向上させることができる。

【0043】

また、第1実施形態では、上記のように、酸素がドーピングされた n 型Ga N 基板1を用いることによって、 n 型Ga N 基板1側にしみ出された光を、容易に、酸素がドーピングされた n 型Ga N 基板1の不純物準位により吸収させることができる。また、不純物として酸素をドーピングすることによって、酸素によって n 型Ga N 基板1に不純物準位を効果的に形成することができるので、 n 型Ga N 基板1にしみ出した光を有効に吸収することができる。

【0044】

また、第1実施形態では、上記のように、 n 型クラッド層3をアンドープにするとともに、そのアンドープの n 型クラッド層3をアンドープGa N 層2上に形成することによって、アンドープの n 型クラッド層3の結晶性を向上させることができる。かつ、その上に形成されるMQW活性層41の結晶性も向上させることができる。これにより、 n 型クラッド層3での光吸収を抑制することができる。とともに、MQW活性層41の発光効率を向上させることができる。また、アンドープの n 型クラッド層3およびアンドープGa N 層2には不純物準位が形成されない。これによっても、 n 型クラッド層3での光吸収を抑制することができる。また、アンドープGa N 層2での光吸収も抑制することができる。また、アンドープGa N 層2の膜厚を調節することによって、発光層4と n 型Ga N 基板

1 との距離を所定の距離（第 1 実施形態では、約 $2\ \mu\text{m}$ ）に調整することができるので、 n 型 Ga N 基板 1 における光吸収の量を容易に制御することができる。

【0045】

また、第 1 実施形態では、 n 型 Ga N 基板 1 の材料である Ga N の格子定数と、その上に形成されるアンドープの n 型クラッド層 3 および MQW 活性層 4 1 を構成する窒化物系半導体の格子定数とが近いので、これによっても、 n 型クラッド層 3 および MQW 活性層 4 1 の結晶性を向上させることができる。

【0046】

また、第 1 実施形態では、 p 側光ガイド層 4 2 を Ga N の格子定数よりも大きい格子定数を有する $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ にすることによって、 Ga N よりも小さい格子定数を有する p 型 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ からなる p 型キャリアブロック層 4 3 および p 型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる p 型クラッド層 5 に発生した格子歪を補償することができる。これにより、 p 型キャリアブロック層 4 3 および p 型クラッド層 5 の結晶性を向上させることができる。また、 p 型クラッド層 5 上に形成される p 型コンタクト層 6 の結晶性も向上させることができる。さらに、 p 側光ガイド層 4 2 をアンドープにすることによって、 p 側光ガイド層 4 2 には、不純物準位が形成されない。その結果、 p 側光ガイド層 4 2、 p 型キャリアブロック層 4 3、 p 型クラッド層 5 および p 型コンタクト層 6 での光吸収が抑制されるので、これによっても、MQW 活性層 4 1 で発生した光を優先的に n 型 Ga N 基板 1 側にしみ出させることができる。

【0047】

図 3～図 8 は、図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図 1～図 8 を参照して、第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスについて説明する。

【0048】

まず、図 3 に示すように、MOCVD 法 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: 有機金属気相堆積法) を用いて、 n 型 Ga N 基板 1 上に、アンドープ Ga N 層 2、 n 型クラッド層 3、発光層 4、 p 型クラッド層 5 および p 型コンタクト層 6 を順次形成する。

【0049】

具体的には、 n 型Ga_{0.93}N基板1を約1150℃の成長温度に保持した状態で、酸素がドーピングされた n 型Ga_{0.93}N基板1の(0001)面上に、約1μmの膜厚を有するアンドープGa_{0.93}N層2を形成する。続いて、アンドープGa_{0.93}N層2上に、約1μmの膜厚を有するアンドープAl_{0.07}Ga_{0.93}Nからなる n 型クラッド層3を形成する。

【0050】

次に、図2に示したように、基板温度を約850℃の成長温度に保持した状態で、アンドープの n 型クラッド層3上に、約3.5nmの膜厚を有するアンドープIn_xGa_{1-x}Nからなる3つの量子井戸層41aと、約20nmの膜厚を有するアンドープIn_yGa_{1-y}Nからなる3つの量子障壁層41bとを交互に成長させる。これにより、 n 型クラッド層3上に、MQW活性層41が形成される。続いて、MQW活性層41上に、約0.1μmの膜厚を有するアンドープIn_{0.01}Ga_{0.99}Nからなる p 側光ガイド層42を成長させる。

【0051】

次に、基板温度を約950℃の成長温度に保持した状態で、 p 側光ガイド層42上に、約20nmの膜厚を有するMgがドーピングされた p 型Al_{0.25}Ga_{0.75}Nからなる p 型キャリアブロック層43を成長させる。

【0052】

次に、図3に示したように、基板温度を約1150℃の成長温度に保持した状態で、発光層4(p 型キャリアブロック層43)上に、約0.35μmの膜厚を有するMgがドーピングされた p 型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nからなる p 型クラッド層5を成長させる。続いて、 p 型クラッド層5上に、約3nmの膜厚を有するMgがドーピングされた p 型In_{0.01}Ga_{0.99}Nからなる p 型コンタクト層6を成長させる。

【0053】

次に、図4に示すように、プラズマCVD法(Chemical Vapor Deposition: 化学気相堆積法)を用いて、 p 型コンタクト層6上のほぼ全面に、約1μmの膜厚を有するSiO₂膜13を形成する。さらに、SiO₂膜13上に、フォトリソグラフ

イ技術を用いて、約 $1.5\mu\text{m}$ の幅を有するストライプ状（細長状）のレジストパターン14を形成する。

【0054】

次に、 CF_4 ガスによるRIE法（Reactive Ion Etching：反応性イオンエッチング法）を用いて、レジストパターン14をマスクとして、 SiO_2 膜13をエッチングする。これにより、図5に示すように、約 $1.5\mu\text{m}$ の幅を有するストライプ状の SiO_2 膜13が形成される。この後、レジストパターン14を除去する。

【0055】

次に、図6に示すように、 Cl_2 ガスによるRIE法を用いて、 SiO_2 膜13をマスクとして、p型コンタクト層6およびp型クラッド層5の一部領域をエッチング除去することにより、リッジ部7が形成される。このとき、p型クラッド層5の凸部以外の領域の膜厚が、約 $0.05\mu\text{m}$ になるように、エッチング深さを制御する。この後、HF系エッチャントを用いて、 SiO_2 膜13を除去する。

【0056】

次に、図7に示すように、プラズマCVD法を用いて、p型クラッド層5およびp型コンタクト層6の表面を覆うように、約 $0.2\mu\text{m}$ の膜厚を有する SiO_2 膜（図示せず）を形成した後、フォトリソグラフィ技術および CF_4 ガスによるRIE法を用いて、p型コンタクト層6の上面が露出するように、その SiO_2 膜の一部を除去することによって、 SiO_2 膜からなる電流ブロック層8が形成される。

【0057】

次に、図8に示すように、真空蒸着法を用いて、p型コンタクト層6上に、下層から上層に向かって、約 1nm の膜厚を有するPt層と、約 100nm の膜厚を有するPd層と、約 240nm の膜厚を有するAu層と、約 240nm の膜厚を有するNi層とからなるp側オーミック電極9を、ストライプ状に形成する。そして、真空蒸着法を用いて、p側オーミック電極9の表面上と電流ブロック層8の表面の一部領域上とに、p側オーミック電極9の上面に接触するように、下

層から上層に向かって、約100nmの膜厚を有するTi層と、約150nmの膜厚を有するPt層と、約3 μ mの膜厚を有するAu層とからなるp側パッド電極10を形成する。

【0058】

最後に、図1に示したように、n型GaN基板1の裏面を研磨することによって、n型GaN基板1を所定の厚み（たとえば、約100 μ m）にする。この後、真空蒸着法を用いて、n型GaN基板1の裏面上に、n型GaN基板1に近い方から順に、約6nmの膜厚を有するAl層と、約2nmの膜厚を有するSi層と、約10nmの膜厚を有するNi層と、約100nmの膜厚を有するAu層とからなるn側オーミック電極11を形成する。そして、真空蒸着法を用いて、n側オーミック電極11の裏面上に、n側オーミック電極11に近い方から順に、約10nmの膜厚を有するNi層と、約700nmの膜厚を有するAu層とからなるn側パッド電極12を形成する。このようにして、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が形成される。

【0059】

（第2実施形態）

図9は、本発明の第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細断面図である。図9を参照して、この第2実施形態では、上記第1実施形態の構成において、さらに、発光層4aのMQW活性層41の下面（基板側）に、n側光ガイド層44を設けた例について説明する。なお、その他の構成は、第1実施形態と同様である。

【0060】

この第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、図9に示すように、アンドープ $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるn側光ガイド層44上に、第1実施形態と同様の膜厚および組成を有するMQW活性層41、p側光ガイド層42およびp型キャリアブロック層43が順次形成されている。そして、上記窒化物系半導体各層（41～44）によって、第2実施形態による発光層4aが構成されている。

【0061】

ここで、第2実施形態では、n側光ガイド層44は、約 $0.05\mu\text{m}$ の膜厚を有しており、p側光ガイド層42の膜厚（約 $0.1\mu\text{m}$ ）よりも小さい。また、発光層4aにおいて、p側光ガイド層42の光閉じ込め係数は、約0.32となり、n側光ガイド層44の光閉じ込め係数は、約0.15となる。これにより、n側光ガイド層44の光閉じ込め係数（約0.15）は、p側光ガイド層42の光閉じ込め係数（約0.32）の $1/2$ 以下となる。

【0062】

第2実施形態では、上記のように、アンドープのn型クラッド層3とMQW活性層41との間に、p側光ガイド層42の膜厚（約 $0.1\mu\text{m}$ ）よりも小さい膜厚（約 $0.05\mu\text{m}$ ）を有するn側光ガイド層44を設けることによって、n側光ガイド層44の光閉じ込め係数（約0.15）がp側光ガイド層の光閉じ込め係数（約0.32）よりも小さくなるので、MQW活性層41で発生した光を優先的にn側光ガイド層44が形成されるn型Ga_{0.5}N基板1側にしみ出させることができる。これにより、n型Ga_{0.5}N基板1側にしみ出された光を、酸素がドーピングされたn型Ga_{0.5}N基板1の不純物準位により吸収させることができるので、レーザ光の安定化を図ることができる。また、MQW活性層41で発生した光を優先的にn型Ga_{0.5}N基板1側にしみ出させることができるので、n型Ga_{0.5}N基板1と反対側のp側オーミック電極9による光吸収を抑制することができる。これによりしきい値電流や動作電流が増大するのを抑制することができる。

【0063】

また、n側光ガイド層44は、良好な結晶性を有するアンドープのn型クラッド層3上に形成されるので、n側光ガイド層44の結晶性を向上させることができ、かつ、その上に形成されるMQW活性層41の結晶性も向上させることができる。これにより、n側光ガイド層44での光吸収を抑制することができるとともに、MQW活性層41の発光効率を向上させることができる。

【0064】

なお、第2実施形態のその他の効果は、第1実施形態と同様である。

【0065】

（第3実施形態）

図10は、本発明の第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細断面図である。図10を参照して、この第3実施形態では、上記第1実施形態の構成において、さらに、発光層4bのMQW活性層41の下面（基板側）に、n型キャリアブロック層45を設けた例について説明する。なお、その他の構成は、第1実施形態と同様である。

【0066】

この第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、図10に示すように、約20nmの膜厚を有するアンドープ $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ からなるn型キャリアブロック層45上に、第1実施形態と同様の膜厚および組成を有するMQW活性層41、p側光ガイド層42およびp型キャリアブロック層43が順次形成されている。なお、n型キャリアブロック層45は、アンドープのn型クラッド層3の屈折率およびMQW活性層41の屈折率よりも小さい屈折率を有する。すなわち、n型キャリアブロック層45、n型クラッド層3およびMQW活性層41の屈折率の大小関係は、n型キャリアブロック層45 < n型クラッド層3 < MQW活性層41である。また、n型キャリアブロック層45は、アンドープのn型クラッド層3のバンドギャップおよびMQW活性層41のバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する。そして、上記窒化物系半導体各層（41～43、45）によって、第3実施形態による発光層4bが構成されている。

【0067】

第3実施形態では、上記のように、アンドープのn型クラッド層3とMQW活性層41との間に、アンドープのn型クラッド層3の屈折率よりも小さい屈折率を有するn型キャリアブロック層45を設けることによって、光がn型キャリアブロック層45よりも屈折率の大きいn型クラッド層3に閉じ込められようとするので、容易に、光をn型クラッド層3にしみ出させることができる。なお、n型キャリアブロック層45が設けられていなければ、n型クラッド層3の屈折率よりも大きい屈折率を有するMQW活性層41に光が強く閉じ込められるので、n型クラッド層3への光のしみ出しが小さくなる。このように、第1実施形態に比べて、MQW活性層41で発生した光をより優先的にn型GaN基板1側にしみ出させることができる。ただし、n型キャリアブロック層45がより大きい膜

厚（たとえば、ミクロンオーダー）を有する場合には、キャリアブロック層は、屈折率の小さいクラッド層として機能する。この場合、活性層内に強く光が閉じ込められるので、上述した効果を得るのが困難になる。したがって、n型キャリアブロック層45は、小さい膜厚で形成するのが好ましい。

【0068】

また、第3実施形態では、上記のように、n型クラッド層3とMQW活性層41との間に、n型クラッド層3のバンドギャップおよびMQW活性層41のバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有するn型キャリアブロック層45を設けることによって、n型クラッド層3とMQW活性層41との間のバンドギャップ差よりも、n型キャリアブロック層45とMQW活性層41との間のバンドギャップ差の方が大きいので、正孔のn型クラッド層3へのオーバーフローをより抑制することができる。

【0069】

なお、第3実施形態のその他の効果は、第1実施形態と同様である。

【0070】

（第4実施形態）

図11は、本発明の第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の断面図である。図11を参照して、この第4実施形態では、上記第1～第3実施形態と異なり、n型Ga_{0.99}N基板1上に、Geがドーピングされたn型クラッド層21を形成した例について説明する。なお、その他の構成は、第1実施形態と同様である。

【0071】

この第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、図11に示すように、酸素がドーピングされたn型Ga_{0.99}N基板1の（0001）面上に、第1実施形態と同様の膜厚および組成を有するアンドープGa_{0.99}N層2が形成されている。

【0072】

ここで、第4実施形態では、アンドープGa_{0.99}N層2上に、約1μmの膜厚を有するとともに、約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するGeがドーピングされたn型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nからなるn型クラッド層21が形成されている。このn型クラッド層21にドーピングされたGeは、Siの格子定数よりも大きく、かつ、

窒化物系半導体の格子定数に近い格子定数を有する。

【0073】

そして、n型クラッド層21上には、第1実施形態と同様の膜厚および組成を有する発光層4、p型クラッド層5およびp型コンタクト層6が形成されている。また、リッジ部7の側面上とp型クラッド層5の露出している表面上とには、SiO₂膜からなる電流ブロック層8が形成されている。そして、素子のn側およびp側には、それぞれ、第1実施形態と同様の膜厚および組成を有するp側オーミック電極9、p側パッド電極10、n側オーミック電極11およびn側パッド電極12が形成されている。

【0074】

第4実施形態では、上記のように、n型クラッド層21に窒化物系半導体と格子定数が近いGeをドーピングすることによって、n型ドーパントとして通常用いられるSiをドーピングする場合に比べて、ドーピングによる歪みの発生を有効に低減することができる。このため、n型クラッド層21の結晶性を向上させることができ、かつ、そのn型クラッド層21上に形成されるMQW活性層41の結晶性も向上させることができる。これにより、n型クラッド層21での光吸収を抑制することができるとともに、MQW活性層41の発光効率を向上させることができる。また、Geのドーピング量を制御することにより、容易に、n型クラッド層21の抵抗値を制御することができる。

【0075】

なお、第4実施形態のその他の効果は、第1実施形態と同様である。

【0076】

(第5実施形態)

図12は、本発明の第5実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の断面図である。図12を参照して、この第5実施形態では、上記第1～第4実施形態のリッジ部および電流ブロック層により電流狭窄を行う場合と異なり、イオン注入層31により電流狭窄を行う例について説明する。

【0077】

この第5実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、図12に示すように

、酸素がドーブされたn型Ga_{0.5}N基板1の(0001)面上に、第1実施形態と同様の膜厚および組成を有するアンドープGa_{0.5}N層2、n型クラッド層3、発光層4、p型クラッド層5およびp型コンタクト層6が順次形成されている。

【0078】

そして、p型クラッド層5およびp型コンタクト層6には、炭素(C)がイオン注入されることにより形成された約0.32 μ mの注入深さを有するイオン注入層31が設けられている。そして、イオン注入された炭素濃度のピーク深さは、p型コンタクト層6の上面から約0.23 μ mのp型クラッド層5の領域内に位置する。また、ピーク深さにおけるピーク濃度は、約 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。また、電流通路部32となるイオン注入されていない領域(非注入領域)は、約2.1 μ mの幅で形成されている。そして、このイオン注入層31は、多量のイオンが半導体中に注入されることによって、他の領域よりも結晶欠陥を多く含んでいる。これにより、イオン注入層31は、イオン注入層31に多く含まれる結晶欠陥により高抵抗となるので、電流狭窄層として機能するとともに、結晶欠陥に起因した光吸収が起こるので光吸収層としても機能する。

【0079】

また、p型コンタクト層6の上面には、開口部33aを有するZrO₂からなる絶縁膜33が形成されている。この開口部33aの幅は、電流通路部32の幅よりも小さくなるように形成されている。そして、絶縁膜33の上面には、絶縁膜33の開口部33aを介して、p型コンタクト層6の上面に接触するとともに、絶縁膜33の上面に延びるように、p側オーミック電極34が形成されている。このp側オーミック電極34は、下層から上層に向かって、約1nmの膜厚を有するPt層と、約100nmの膜厚を有するPd層と、約240nmの膜厚を有するAu層と、約240nmの膜厚を有するNi層とからなる。そして、p側オーミック電極34の上面には、下層から上層に向かって、約100nmの膜厚を有するTi層と、約150nmの膜厚を有するPt層と、約3 μ mの膜厚を有するAu層とからなるp側パッド電極35が形成されている。また、n型Ga_{0.5}N基板1の裏面上には、n型Ga_{0.5}N基板1に近い方から順に、第1実施形態と同様の膜厚および組成を有するn側オーミック電極11およびn側パッド電

極12が順次形成されている。

【0080】

第5実施形態では、上記のように、イオン注入層31の光吸収層としての機能を利用することによって、光の横方向の閉じ込めを行うことができるので、レーザー光の横モードの安定化を図ることができる。さらに、第1実施形態と同様、発光層4で発生した光を優先的にn型Ga_{0.9}N基板1側にしみ出させるとともに、n型Ga_{0.9}N基板1側にしみ出された光を、n型Ga_{0.9}N基板1の不純物準位により吸収させることによって、レーザー光の安定化を図ることができる。その結果、上述した2つの効果が相乗的に作用するので、レーザー光の安定化をより図ることができる。

【0081】

なお、第5実施形態のその他の効果は、第1実施形態と同様である。

【0082】

図13～図16は、図12に示した第5実施形態による窒化物系半導体レーザー素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図12～図16を参照して、第5実施形態による窒化物系半導体レーザー素子の製造プロセスについて説明する。

【0083】

まず、図13に示すように、第1実施形態と同様の製造プロセスを用いて、酸素がドーパされたn型Ga_{0.9}N基板1の(0001)面上に、アンドープGa_{0.9}N層2からp型コンタクト層6までを順次形成する。次に、プラズマCVD法を用いて、p型コンタクト層6上の全面に、約1μmの膜厚を有するSiO₂膜(図示せず)を形成した後、このSiO₂膜を、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いてパターニングすることによって、約2.2μmの幅を有するストライプ状(細長状)のSiO₂からなるイオン注入マスク層36を形成する。そして、イオン注入マスク層36およびp型コンタクト層6の表面を覆うように、SiO₂からなるスルー膜37を形成する。

【0084】

そして、図14に示すように、イオン注入マスク層36をマスクとして、スル

一膜 3 7 を介して炭素のイオン注入を行うことによって、p 型クラッド層 5 および p 型コンタクト層 6 に、約 $0.32 \mu\text{m}$ の注入深さを有するイオン注入層 3 1 を形成する。これにより、イオン注入層 3 1 を電流狭窄層とするとともに、約 $2.1 \mu\text{m}$ の幅を有する電流通過部 3 2 が形成される。ここで、 $R_p + \Delta R_p$ を注入深さ（イオン注入層 3 1 の厚み）と定義した。なお、 R_p はピーク深さであり、 ΔR_p は飛程の標準偏差である。また、イオン注入時に、イオン注入マスク層 3 6 の下部に、イオンの横方向への広がり（ ΔR_1 ）が生じる。このとき、イオン注入時のイオン注入マスク層 3 6 の幅を W とすると、イオン注入マスク層 3 6 の下部のイオンが注入されない領域の幅 B は、 $B = W - 2 \times \Delta R_1$ となる。

【 0 0 8 5 】

この際、イオン注入層 3 1 において、電流狭窄だけでなく光の横方向の閉じ込めも十分に行うには、イオン注入された炭素の不純物濃度の極大値が約 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上であることが好ましい。これにより、イオン注入層 3 1 には、電流通過部 3 2 よりも結晶欠陥が多くなるので、この多く含まれる結晶欠陥によって、光吸収を行うことができる。その後、 CF_4 ガスによるドライエッチングを用いて、スルー膜 3 7 を除去する。

【 0 0 8 6 】

次に、図 1 5 に示すように、電子ビーム蒸着法を用いて、p 型コンタクト層 6 およびイオン注入マスク層 3 6 の表面を覆うように、約 50nm の厚みを有する ZrO_2 からなる絶縁膜 3 3 を素子の垂直方向から蒸着する。これにより、イオン注入マスク層 3 6 の側壁部には、絶縁膜 3 3 はほとんど形成されない。

【 0 0 8 7 】

次に、図 1 6 に示すように、フッ酸系エッチャントによるエッチングを行うことによって、イオン注入マスク層 3 6 と絶縁膜 3 3 の一部領域とを除去する。この場合、絶縁膜 3 3 は、ほとんどエッチングされないので、イオン注入マスク層 3 6 の側壁部に位置する絶縁膜 3 3 のみが完全に除去される。そして、イオン注入マスク層 3 6 は、イオン注入マスク層 3 6 の側壁部に位置する絶縁膜 3 3 が除去された後、完全に除去される。その結果、電流通路部 3 2 の上面上に開口部 3 3 a を有する ZrO_2 からなる絶縁膜 3 3 が形成される。

【0088】

最後に、図12に示したように、開口部33aを介してp型コンタクト層6の上面に接触するとともに、絶縁膜33の上面上に延びるように、下層から上層に向かって、約1nmの膜厚を有するPt層と、約100nmの膜厚を有するPd層と、約240nmの膜厚を有するAu層と、約240nmの膜厚を有するNi層とからなるp側オーミック電極34を形成する。そして、p側オーミック電極34上に、下層から上層に向かって、約100nmの膜厚を有するTi層と、約150nmの膜厚を有するPt層と、約3 μ mの膜厚を有するAu層とからなるp側パッド電極35を形成する。また、n型GaN基板1を所定の膜厚になるまで研磨した後、n型GaN基板1の裏面上に、n型GaN基板1に近い方から順に、n側オーミック電極11およびn側パッド電極12を順次形成する。このようにして、第5実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が形成される。

【0089】

(第6実施形態)

図17は、本発明の第6実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の断面図である。図17を参照して、この第6実施形態では、上記第1～第5実施形態のn型GaN基板に代えて、アンドープのZrB₂基板51を用いた例について説明する。なお、その他の構成は、第1実施形態と同様である。

【0090】

この第6実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、図17に示すように、アンドープのZrB₂基板51の(0001)面上に、第1実施形態と同様の膜厚および組成を有する窒化物系半導体各層(アンドープGaN層2、n型クラッド層3、発光層4、p型クラッド層5およびp型コンタクト層6)が順次形成されている。このZrB₂基板51の材料であるZrB₂は、窒化物系半導体の格子定数に近い格子定数を有するとともに、六方晶系の結晶構造を有する。なお、ZrB₂基板51は、本発明の「硼化物系材料からなる基板」の一例である。また、リッジ部7の側面上とp型クラッド層5の露出している表面上には、SiO₂膜からなる電流ブロック層8が形成されている。そして、素子のn側およびp側には、それぞれ、第1実施形態と同様の膜厚および組成を有するp側オーミッ

ク電極9、p側パッド電極10、n側オーミック電極11およびn側パッド電極12が形成されている。

【0091】

第6実施形態では、上記のように、 ZrB_2 基板51の材料である ZrB_2 の格子定数と窒化物系半導体の格子定数とが近いので、その ZrB_2 基板51上に形成される窒化物系半導体層の結晶性を向上させることができる。また、 ZrB_2 基板51は、六方晶系の結晶構造を有するので、容易に、 ZrB_2 基板51上に窒化物系半導体層を結晶成長させることができる。また、 ZrB_2 基板51の格子定数と窒化物系半導体との格子定数差が小さいので、低温バッファ層を介して窒化物系半導体層を形成する必要がない。これにより、低温バッファ層自体の多量の転位に起因して発生する光の散乱や吸収も発生しない。さらに、半金属である ZrB_2 を材料とする ZrB_2 基板51は、発光波長に対して小さすぎるバンドギャップを有する半導体（SiおよびGaAsなど）からなる基板と異なり、 ZrB_2 基板51での光吸収が過大になるのを防止することができる。また、 ZrB_2 基板51は、電気抵抗が小さいので、しきい値電流や動作電流が増大するのをより抑制することができる。

【0092】

なお、第6実施形態のその他の効果は、第1実施形態と同様である。

【0093】

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

【0094】

たとえば、上記第1～第6実施形態では、基板とn型クラッド層との間に、アンドープGaN層2を形成するようにしたが、本発明はこれに限らず、アンドープGaN層2に代えて、基板とn型クラッド層との間に、Geがドーピングされた窒化物系半導体からなる層を形成するようにしてもよい。このドーパントとしてのGeの格子定数は、窒化物系半導体の格子定数と近いため、ドーピングによる歪

みの発生を有効に低減することができる。これにより、Geがドーピングされた窒化物系半導体層上に形成されるn型クラッド層および活性層の結晶性を向上させることができるので、n型クラッド層での光吸収を抑制することができるとともに、活性層の発光効率を向上させることができる。また、Geがドーピングされた窒化物系半導体層上のn型クラッド層上にn側光ガイド層が形成される場合には、n側光ガイド層の結晶性を向上させることができるので、n側光ガイド層での光吸収を抑制することができる。また、Geのドーピング量を制御することにより、容易に、Geがドーピングされた窒化物系半導体からなる層の抵抗値を制御することができる。

【0095】

また、上記第1～第6実施形態では、MOCVD法を用いて、窒化物系半導体各層を結晶成長させるようにしたが、本発明はこれに限らず、HVPE法(Hydride Vapor Phase Epitaxy:ハライド気相成長法)、および、TMAl、TMGa、TMIn、 NH_3 、 SiH_4 、 GeH_4 および Cp_2Mg などを原料ガスとして用いるガスソースMBE法(Molecular Beam Epitaxy:分子線エピタキシャル成長法)などを用いて、窒化物系半導体各層を結晶成長させるようにしてもよい。

【0096】

また、上記第1～第6実施形態では、活性層として多重量子井戸(MQW)構造を用いる例を示したが、本発明はこれに限らず、量子効果を有しない厚膜の単層または単一量子井戸構造であっても同様の効果を得ることができる。

【0097】

また、上記第1～第6実施形態では、基板と発光層との距離が約 $2\mu\text{m}$ になるように構成したが、本発明はこれに限らず、基板と発光層との距離が約 $0.5\mu\text{m}$ ～約 $4\mu\text{m}$ の範囲内であればよい。なお、基板と発光層との距離が約 $0.5\mu\text{m}$ 以下の場合には、基板での光吸収が大きくなるので、しきい値電流や動作電流が増大する傾向がある。また、基板と発光層との距離が約 $4\mu\text{m}$ 以上の場合には、基板での光吸収が小さくなるので、レーザ光の安定化が不十分になる傾向がある。

【 0 0 9 8 】

また、上記第 1 ～ 第 5 実施形態では、 n 型 GaN 基板 1 を用いるようにしたが、本発明はこれに限らず、 $InGaN$ 、 $AlGaInN$ および $AlGaInN$ などからなる基板を用いるようにしてもよい。また、これらに B (ボロン) を加えた GaN 、 $InGaBN$ 、 $AlGaBN$ および $AlGaInBN$ などからなる基板を用いるようにしてもよい。なお、基板側にしみ出させた光を基板に吸収させるためには、基板のバンドギャップを活性層のバンドギャップと同等以下にする必要がある。また、基板に不純物が含まれる場合には、基板材料のバンドギャップから不純物準位のバンドギャップを除いたバンドギャップが、活性層のバンドギャップと同等以下である必要がある。

【 0 0 9 9 】

また、上記第 1 ～ 第 5 実施形態では、酸素がドーピングされた n 型 GaN 基板 1 を用いるようにしたが、本発明はこれに限らず、 S 、 Se 、 Te 、 P 、 As および Sb などがドーピングされた基板を用いるようにしてもよい。これによっても、基板側にしみ出された光を、不純物がドーピングされた基板の不純物準位により吸収させることができる。また、活性層のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有する $Ando$ $InGaIn$ からなる基板を用いるようにしてもよい。

【 0 1 0 0 】

また、上記第 1 ～ 第 5 実施形態では、窒化物系半導体の各層の表面が (0001) 面になるように積層したが、本発明はこれに限らず、窒化物系半導体の各層の表面が他の方向になるように積層してもよい。たとえば、窒化物系半導体の各層の表面が $(1-100)$ や $(11-20)$ 面などの $(H, K, -H-K, 0)$ 面になるように積層してもよい。この場合、MQW 活性層内にピエゾ電場が発生しないので、井戸層のエネルギーバンドの傾きに起因する正孔と電子との再結合確率の低下を抑制することができる。その結果、MQW 活性層の発光効率を向上させることができる。

【 0 1 0 1 】

また、上記第 2 実施形態では、 n 側光ガイド層 44 の光閉じ込め係数が約 0.15 になるようにしたが、本発明はこれに限らず、 n 側光ガイド層の光閉じ込め

係数が約 0.6 以下になるようにすればよい。好ましくは、n 側光ガイド層の光閉じ込め係数が、約 0.2 以下になるようにした方がよい。さらに、n 側光ガイド層の光閉じ込め係数が、p 側光ガイド層の光閉じ込め係数の $1/2$ 以下になるようにした方がよい。

【0102】

また、上記第 6 実施形態では、 ZrB_2 基板 51 を用いるようにしたが、本発明はこれに限らず、他の硼化物系材料からなる基板を用いるようにしてもよい。たとえば、 ZrB_2 以外の硼化物系材料として、 TiB_2 などが考えられる。なお、 TiB_2 は、 ZrB_2 と同様、六方晶系の結晶構造を有するので、容易に、その上に六方晶の窒化物系半導体層を結晶成長させることができる。ただし、 ZrB_2 の (0001) 面は、GaN との格子定数差が非常に小さいので、 ZrB_2 からなる基板を用いた方が、より良好な結晶性を有する窒化物系半導体層を形成することができる。

【0103】

また、上記第 6 実施形態では、アンドープの ZrB_2 基板 51 を用いるようにしたが、本発明はこれに限らず、Si や酸素などの不純物がドーピングされた ZrB_2 基板を用いるようにしてもよい。この場合、基板側にしみ出された光を、不純物がドーピングされた ZrB_2 基板の不純物準位により吸収させることができる。これにより、レーザ光をより安定化させることができる。

【0104】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、レーザ光の安定化を図るとともに、しきい値電流や動作電流が増大するのを抑制することが可能な窒化物系半導体レーザ素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。

【図 2】

図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細断面図である。

【図 3】

図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 4】

図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 5】

図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 6】

図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 7】

図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 8】

図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 9】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細断面図である。

【図 1 0】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細断面図である。

【図 1 1】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の断面図である。

【図 1 2】

本発明の第5実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の断面図である。

【図13】

図12に示した第5実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図14】

図12に示した第5実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図15】

図12に示した第5実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図16】

図12に示した第5実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図17】

本発明の第6実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の断面図である。

【図18】

従来の窒化物系半導体レーザ素子の一例を示した断面図である。

【図19】

図18に示した従来の一例による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細断面図である。

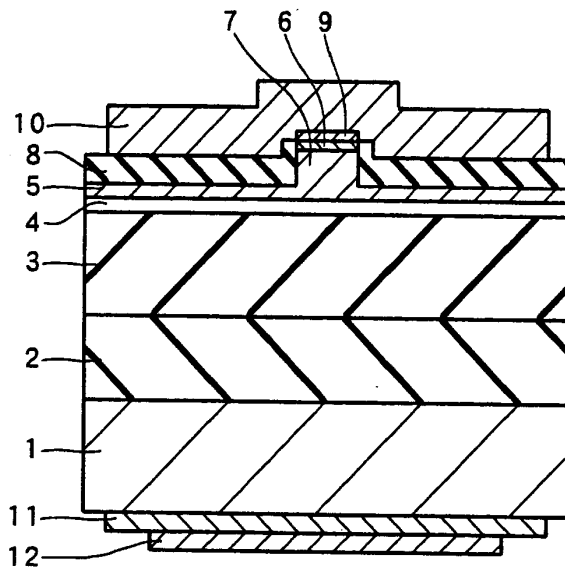
【符号の説明】

- 1 n型Ga_{0.4}N基板（窒化物系半導体からなる基板）
- 2 アンダーペースGa_{0.4}N層（アンダーペースの窒化物系半導体からなる層）
- 3 n型クラッド層（アンダーペースのn型クラッド層）
- 5 p型クラッド層
- 21 n型クラッド層
- 41 MQW活性層（活性層）
- 42 p側光ガイド層（光ガイド層）
- 44 n側光ガイド層

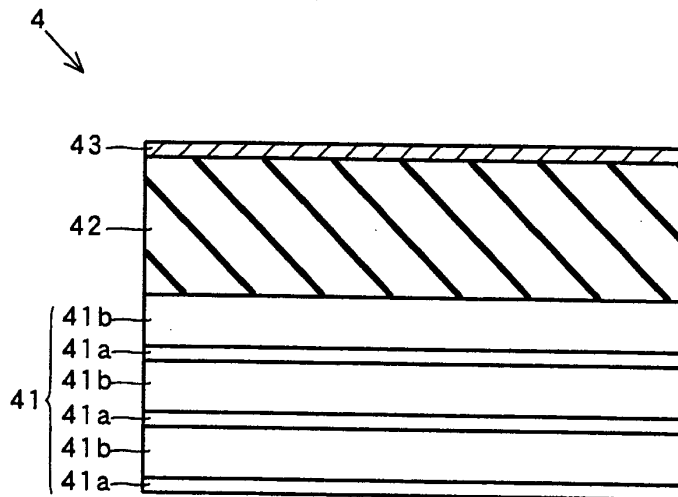
5 1 Z r B₂基板（硼化物系材料からなる基板）

【書類名】 図面

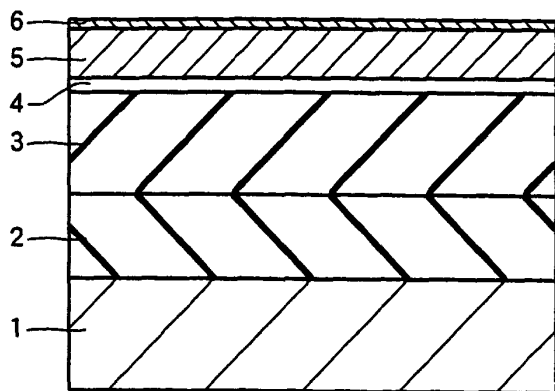
【図 1】



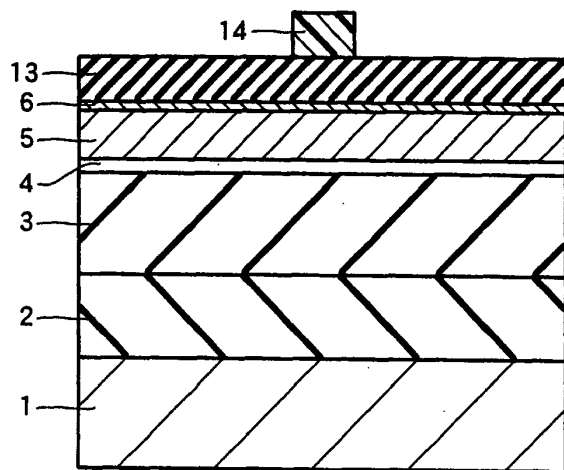
【図 2】



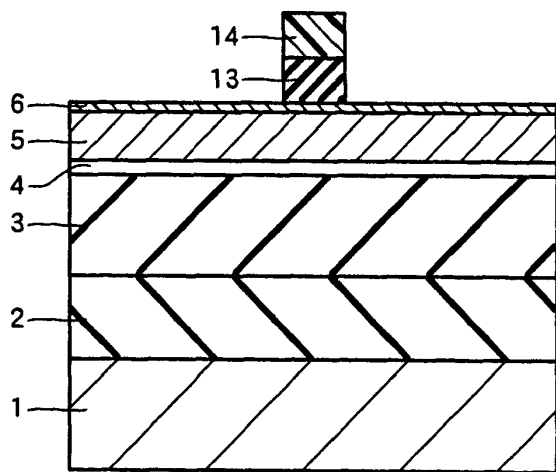
【図3】



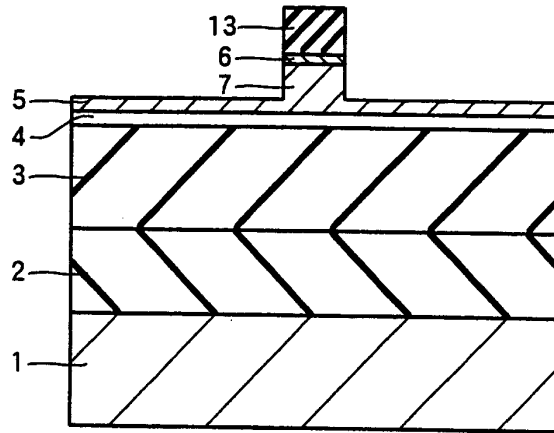
【図4】



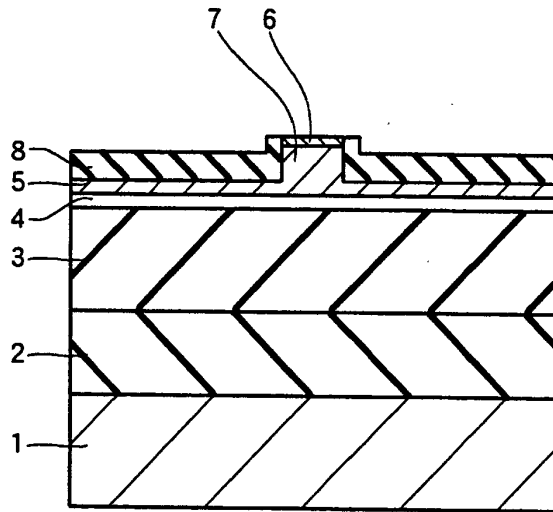
【図5】



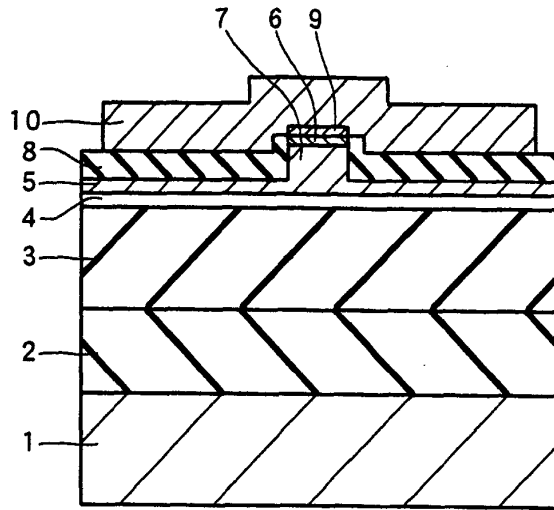
【図6】



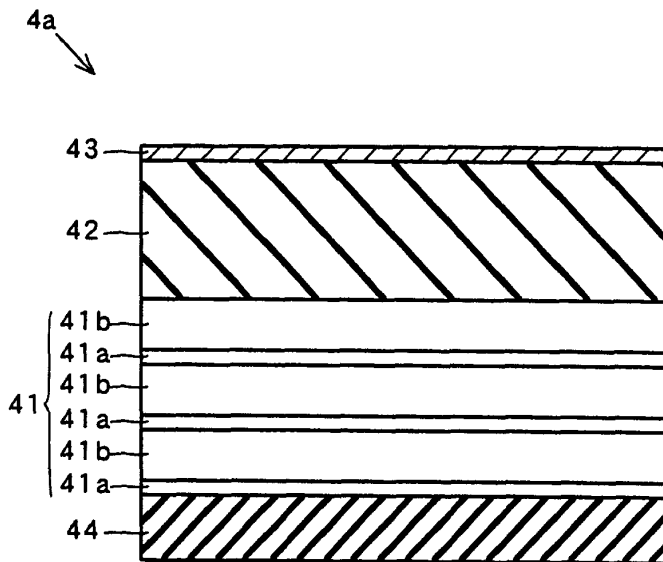
【図7】



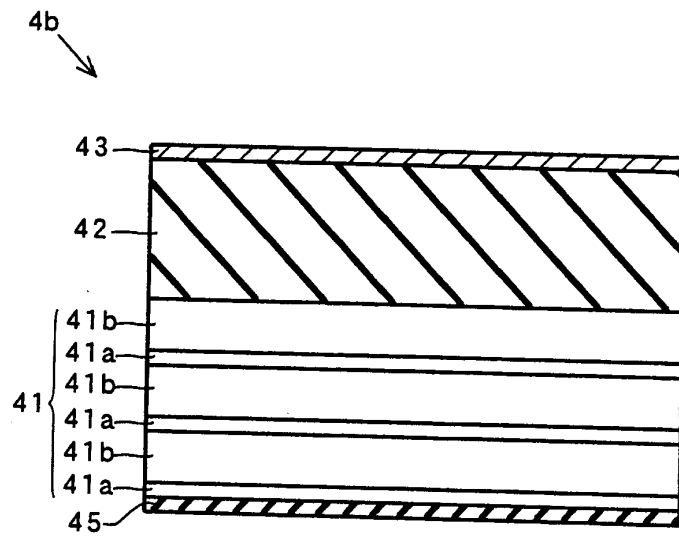
【図8】



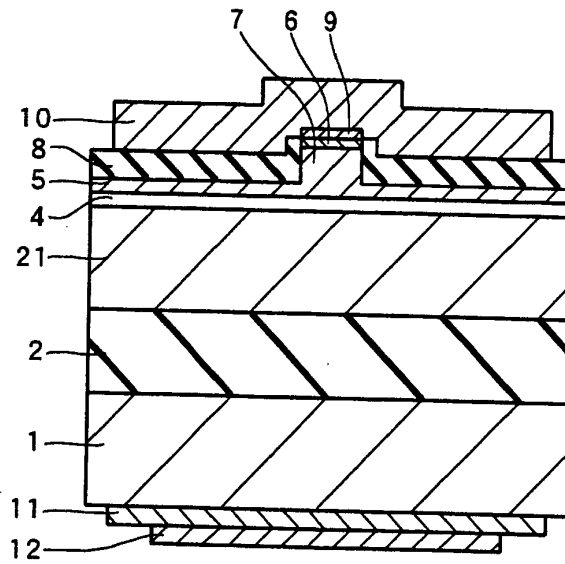
【図9】



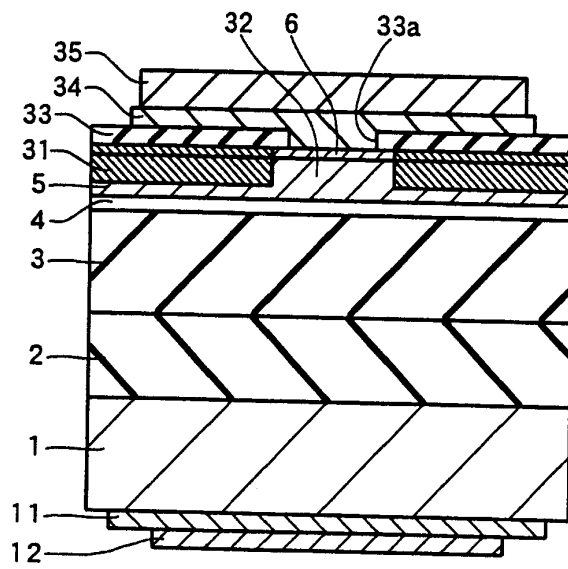
【図10】



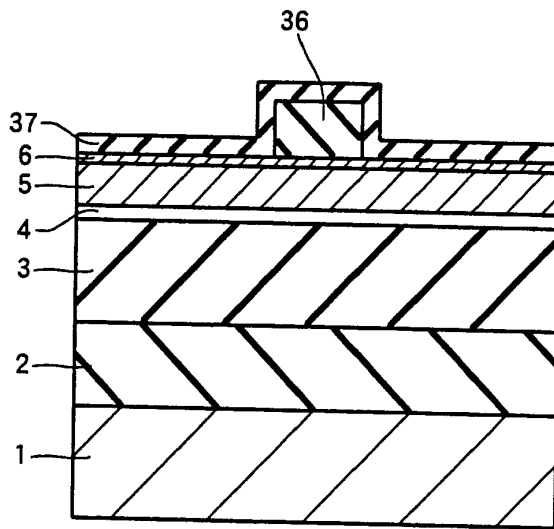
【図11】



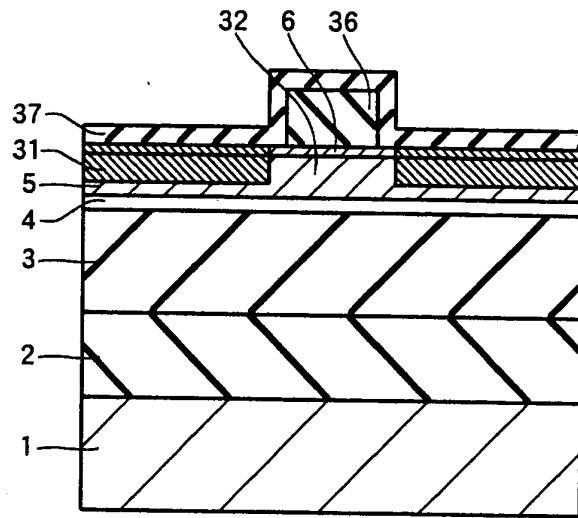
【図12】



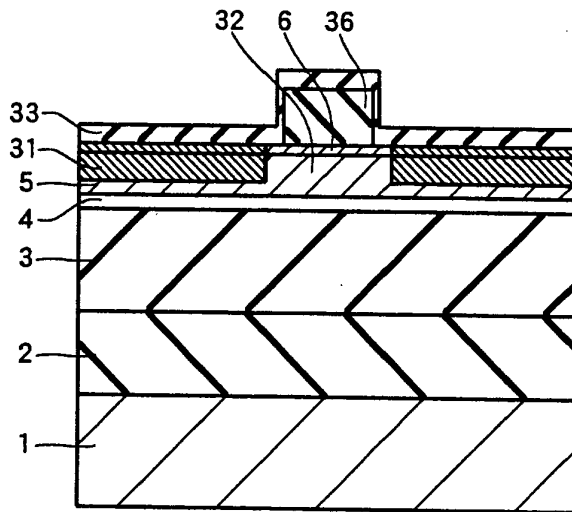
【図13】



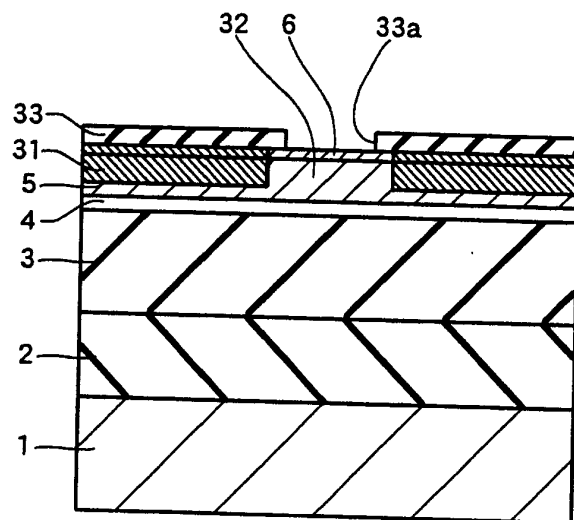
【図 1 4】



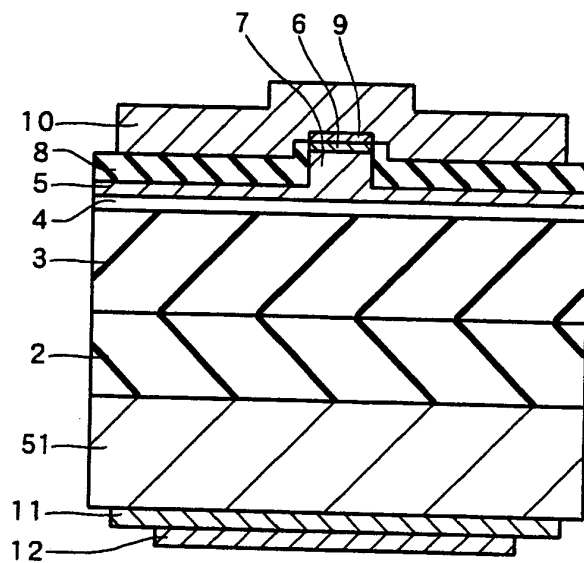
【図 1 5】



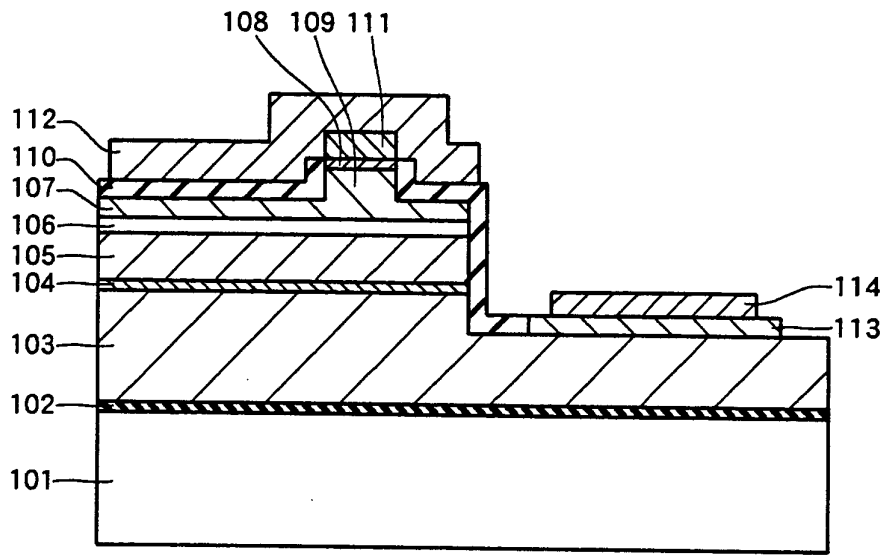
【図16】



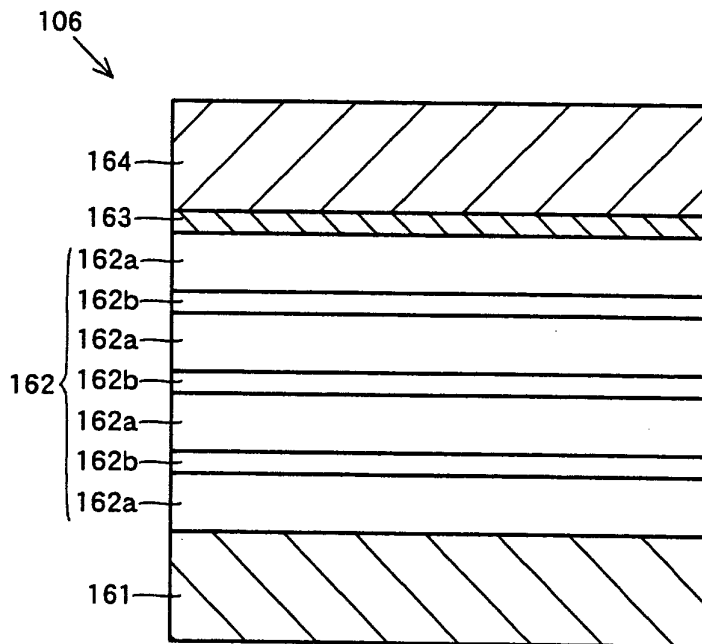
【図17】



【図 1 8】



【図 1 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 レーザ光の安定化を図るとともに、しきい値電流や動作電流が増大するのを抑制することが可能な窒化物系半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 この窒化物系半導体レーザ素子は、酸素がドーピングされたn型GaN基板1と、n型GaN基板1上に形成されたアンドープのn型クラッド層3と、アンドープのn型クラッド層3上に形成された窒化物系半導体からなるMQW活性層41と、MQW活性層41上に形成されたp型クラッド層5と、p型クラッド層5とMQW活性層41との間に形成され、約0.1 μm の膜厚を有するp側光ガイド層42と、アンドープのn型クラッド層3とMQW活性層41との間に形成され、p側光ガイド層42の膜厚よりも小さい約0.05 μm の膜厚を有するn側光ガイド層44とを備えている。

【選択図】 図9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001889]

1. 変更年月日 1993年10月20日
[変更理由] 住所変更
住 所 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
氏 名 三洋電機株式会社